

令和 3 年 6 月 14 日現在

機関番号：13901

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2020

課題番号：19K15044

研究課題名(和文) 強磁性酸化物を用いた人工積層膜の電圧駆動メモリデバイスへの応用

研究課題名(英文) Fabrication of artificial multilayer using ferromagnetic oxide and its application to voltage-driven memory devices

研究代表者

大島 大輝(Oshima, Daiki)

名古屋大学・未来材料・システム研究所・特任助教

研究者番号：60736528

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：電圧駆動メモリデバイスへの応用を目指し、マグネトロンスパッタ法により強磁性酸化物/強磁性金属/非磁性金属の繰り返し積層構造を作製し、その評価を行った。今回強磁性酸化物として使用したZnフェライトは強磁性金属FeCo/非磁性金属W上に結晶成長することを確認し、また、積層構造において、メモリデバイスへの応用を考えると重要な垂直磁気異方性が大きくはないが確認され、本研究で提案する材料系の可能性を示すことができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現在、電圧駆動メモリデバイスの基本構造は強磁性金属/非磁性絶縁体の構造であるが、その構造では繰り返し積層して体積を増やしていくことは難しいと考えられる。一方、全てが磁氣的に結合した強磁性絶縁体/強磁性金属/非磁性金属構造が実現できれば、繰り返し回数を大きくしてもメモリ機能は維持できると考えられる。本研究期間内では、電圧による磁気特性の変調を確認するまでには至れなかったが、提案する構造において、結晶成長すること、目標とする磁気特性を得ることに成功した。

研究成果の概要(英文)：For application to voltage-driven magnetic memories, ferromagnetic-oxide / ferromagnetic-metal / nonmagnetic metal repetition layer structure was fabricated by magnetron sputtering method, and the magnetic property and the crystal structure of the samples were evaluated. Zn ferrite, used as a ferromagnetic-oxide, was epitaxially grown on ferromagnetic FeCo / nonmagnetic W buffer layers. Perpendicular magnetic anisotropy, which is important for memory applications, was confirmed in the repetition multilayer. There is the possibility that the proposed structure is available in the magnetic memories.

研究分野：スピントロニクス

キーワード：強磁性絶縁体 電圧印加 垂直磁気異方性

1. 研究開始当初の背景

磁気ランダムアクセスメモリ (MRAM) は書き込み、読み込みが数十 ns と非常に早く、また、情報の保持にエネルギーを必要としないため消費電力が少なく、既存メモリを置き換えられるポテンシャルを秘めている。近年では、組み込み型の MRAM (eMRAM) や SRAM 置き換えを念頭に製品開発が進められている。特に、さまざまなものをインターネットでつなぐ IoT では、待機電力を必要としない eMRAM は効果を発揮するものと考えられる。IoT の実現には書き込み時の消費電力を今よりも下げる必要がある。現在の MRAM の書き込み方式は電流誘起の磁化反転によるものであるが、電流を流すのに必要なエネルギーは情報保持に必要なエネルギーバリアよりも圧倒的に大きく、省電力化の余地は十分にある。そのため、電圧アシスト電流誘起磁化反転や完全電圧駆動型の MRAM が提案されており、研究が進められている。

2. 研究の目的

情報記録の部分の構造は、MgO/Fe もしくは CoFe 系の構造がよく用いられている。メモリ応用においては、強磁性記録層は膜面垂直方向に磁化容易軸を持つ垂直磁気異方性を有することが必要であるが、この構造においては MgO と強磁性金属の界面で生じる大きな異方性により垂直磁化膜が実現される。ここに電圧を印加すると MgO からの分極により、界面の電子状態が変化し、界面磁気異方性が変調される。一方で、情報を長期間保持するためには、1 素子あたりの磁気異方性エネルギーを大きくする必要があるが、電圧印加により磁気異方性を変調することを考えると、膜厚を厚くして磁気異方性エネルギーを大きくはできない。そのため、通常材料系では、界面磁気異方性が大きく、さらにその電圧変調効果が大きい材料の開発が求められる。本研究では、膜厚を厚くできる材料系として【強磁性絶縁体/強磁性金属/非磁性金属】の繰り返し積層構造を提案する。本構造では、強磁性絶縁体/強磁性金属の界面において垂直磁気異方性が得られ、電圧印加により磁気異方性の変調が期待できる。また、積層構造にわたって、磁氣的に結合し、長期間の情報保持も期待できる。本研究では、提案する構造において垂直磁気異方性が得られることを確認し、さらに電圧アシスト磁化反転を行うことを目的とした。

3. 研究の方法

サンプルをマグネトロンスパッタ法により作製した。強磁性体として Ni フェライト (NFO) および Zn フェライト (ZFO) を、強磁性金属として $\text{Co}_{50}\text{Fe}_{50}$ を、非磁性金属として W を用い、W/CoFe/ZFO(NFO) の積層構造を MgO(001)単結晶基板上に作製した。その後、真空中で 250、300、350°C で熱処理を行い、積層膜の磁化曲線と X 線回折の測定を行った。電圧印加による磁気特性の変調を確認するため、フォトリソグラフィーおよびイオンエッチングにより図 1 のようなホールクロスを作製し、異常ホール効果を観測した。

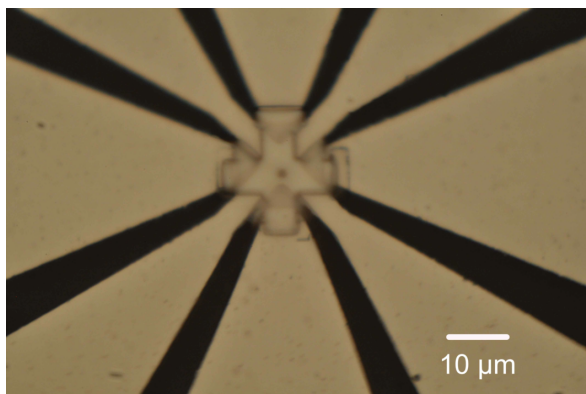


図 1 作製した異常ホール素子の光学顕微鏡像

4. 研究成果

Ni フェライトについての検討も行ったが、ここでは、より良い結果の得られた Zn フェライトについての結果を示す。図2にMgO(001)sub./W(10nm)/CoFe(0.8nm)/ZFO(50nm)/W(10nm)の逆格子マップ測定の結果を示す。図中にW 002 ピークが見られ、MgO(001)基板上にWがエピタキシャル成長していることがわかる。さらに、MgO[110]と[001]に平行な面において、ZFOの115ピークらしきものが見られる。このことから、W(10nm)/CoFe(0.8nm)上に積層したZFOは(001)配向しており(ZFO[110]/MgO[110])、ZnフェライトがW(10nm)/CoFe(0.8nm)上でエピタキシャル成長することが明らかになった。

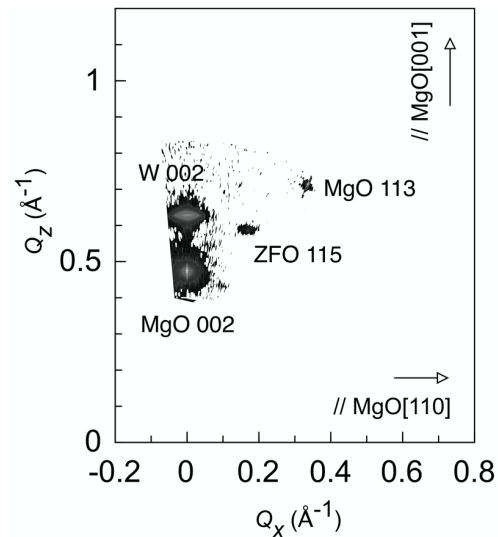


図2 MgO(001)sub./W(10nm)/CoFe(0.8nm)/ZFO(50nm)/W(10nm)の逆格子マップ測定

次にW/CoFe/ZFOの繰り返し積層膜を形成し、磁気特性の熱処理温度依存性を調べた。図3はMgO(001)sub./W(10nm)上に形成したCoFe(0.8nm)/ZFO(2nm)/W(1nm)/CoFe(1nm)/ZFO(2nm)の磁化曲線である。熱処理前では、膜面法線方向に飽和させるのに必要な磁界が大きく、垂直磁気異方性が確認できない。一方、250°Cもしくは300°Cで熱処理したサンプルでは、膜面内方向の磁化曲線に大きな変化は見られないが、膜面垂直方向の磁化曲線を見ると、磁化しやすくなっていることがわかる。これはサンプルの結晶性が熱処理により向上し、垂直磁気異方性が誘導されたためと考えられ、強磁性酸化物/強磁性金属/非磁性金属構造においても、大きくはないが垂直磁気異方性が得られることがわかった。さらに熱処理温度を上げて、350°Cで熱処理したサンプルにおいては、垂直磁気異方性が小さくなっている様子が見られた。これは、高温での熱処理により層構造が崩れたためであると考えられ、このことから作製したサンプルにおいては、300°C以下の熱処理が最適であると結論づけられる。

作製したサンプルにおいて、図1に示す素子を作製し、上部電極に電圧を印加した際の異常ホールループの変化を調べたが、残念ながらループの変化は観測できなかった。理由は定かではないが、サンプルの結晶性が不十分であることが原因であると予想される。目的とする構造で電圧印加による磁気特性の変調効果を得るためには、各層の材料・膜厚、成膜条件、熱処理温度を最適化する必要があると考えられる。

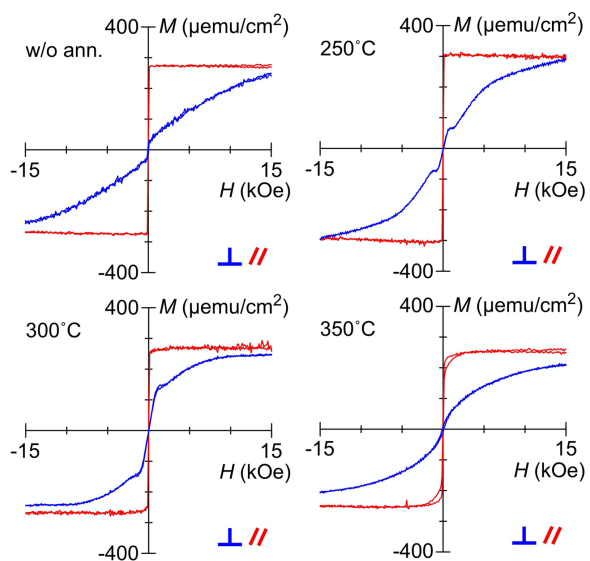


図3 MgO(001)sub./W(10nm)/CoFe(0.8nm)/ZFO(2nm)/W(1nm)/CoFe(1nm)/ZFO(2nm)/Cr(10nm)の磁化曲線

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

| | |
|---|-------------------------------|
| 1. 著者名 Oshima Daiki, Kato Takeshi, Iwata Satoshi | 4. 巻 10 |
| 2. 論文標題 Highly (001) oriented MnAl thin film fabricated on CoGa buffer layer | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 AIP Advances | 6. 最初と最後の頁 025012 ~ 025012 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1063/1.5130452 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である） | 国際共著 - |

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件/うち国際学会 3件）

| |
|---|
| 1. 発表者名 K. Kunishima, X. Zhou, D. Oshima, T. Kato, S. Iwata |
| 2. 発表標題 Electric-field-assisted Spin Hall Magnetization Switching in MgO/Co/Pt Trilayers |
| 3. 学会等名 Magnetics and Optics Research International Symposium 2019（国際学会） |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 K. Kunishima, X. Zhou, D. Oshima, T. Kato, S. Iwata |
| 2. 発表標題 Voltage control of spin Hall switching in perpendiculary magnetized MgO/Co/Pt trilayers |
| 3. 学会等名 International Conference on Materials and Systems for Sustainability 2019（国際学会） |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 國島和哉, 周興, 大島大輝, 加藤剛志, 岩田聡 |
| 2. 発表標題 MgO/Co/Pt積層膜における電界アシストスピン軌道トルク磁化反転 |
| 3. 学会等名 第43回日本磁気学会学術講演会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---------------------------------------|
| 1. 発表者名 大島大輝, 加藤剛志, 岩田聡 |
| 2. 発表標題 CoGa下地層を用いたMnAl(001)配向膜の形成 |
| 3. 学会等名 第43回日本磁気学会学術講演会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 大島大輝, 加藤剛志, 岩田聡 |
| 2. 発表標題 熱処理したFe304/Crスパッタ積層膜の垂直磁気異方性 |
| 3. 学会等名 電気学会マグネティックス研究会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 D. Oshima, T. Kato, S. Iwata |
| 2. 発表標題 Highly (001) oriented MnAl film fabricated on CoGa buffer layer |
| 3. 学会等名 Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials 2019 (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

| | | | |
|---------|---------------------------|-----------------------|----|
| 6. 研究組織 | 氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号) | 所属研究機関・部局・職 (機関番号) | 備考 |
|---------|---------------------------|-----------------------|----|

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

| 共同研究相手国 | 相手方研究機関 |
|---------|---------|
|---------|---------|